植 物 分 类 与 资 源 学 报　2011, **33** (4): 423～431
Plant Diversity and Resources　DOI: 10.3724/SP.J.1143.2011.10207

青藏高原六种棘豆属植物的染色体数目及核型报道*

刘亚辉[1,2]，孟　盈[1]，杨永红[2]，杨永平[1**]
（1 中国科学院青藏高原研究所昆明部，云南 昆明　650201；2 云南农业大学
云南省植物病理重点实验室，云南 昆明　650201）

摘要：对6种棘豆属植物（*Oxytropis*）的13个居群样进行细胞学研究，其中黄花棘豆（*O. ochrocephala*）、绢毛棘豆（*O. tatarica*）、甘肃棘豆（*O. kansuensis*）和铺地棘豆（*O. humifusa*）为首次报道染色体数目（$2n=16$）和核型；在胀果棘豆（*O. stracheyana*）中（$2n=48$）首次发现B染色体。现有的细胞学资料表明：棘豆属植物中多倍体占总报道数的58%，这说明多倍化在本属植物的进化过程中起着非常重要的作用，但青藏高原仅有一种植物发现多倍体，多倍化并不占主导地位，而主要表现为二倍体水平上的结构变异，即核型不对称性的变化。

关键词：棘豆属；青藏高原；染色体数目；核型；AI值
中图分类号：Q 943　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-0845(2011)04-423-09

Chromosome Numbers and Karyotypes of Six *Oxytropis* Species (Fabaceae) from the Qinghai-Tibetan Plateau, China

LIU Ya-Hui[1,2], MENG Ying[1], YANG Yong-Hong[2], YANG Yong-Ping[1**]
(1 *Institute of Tibetan Plateau Research at Kunming, Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650201, China;
2 *Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province, Yunnan Agricultural University*, Kunming 650201, China)

Abstract: Chromosome numbers and karyotypes of 13 populations of six *Oxytropis* species (Fabaceae) from the Qinghai-Tibetan Plateau, China, were presented. The chromosome numbers and karyotypes in *O. ochrocephala*, *O. tatarica*, *O. kansuensis* and *O. humifusa* ($2n=16$) were reported for the first time. B-chromosomes were found from *O. stracheyana* ($2n=48$). The basic chromosome number of $x=8$ is confirmed for the genus. The available chromosomal data indicate that polyploidy may have played an important role in the evolution of the genus, with the incidence of polyploidy in the genus reaching 58%. However, our results indicated that among the populations here examined only one was a hexaploid with $2n=48$. Such a chromosomal pattern indicates that the karyotypic repatterning at the diploid level seems to be the predominant feature of chromosomal evolution in the *Oxytropis* species from the Qinghai-Tibetan Plateau, and that sympatric speciation via hybridization and polyploidization has played a minor role in the species diversification of the genus from this area.

Key words: *Oxytropis*; Qinghai-Tibetan Plateau; Chromosome number; Karyotype; AI value

棘豆属（*Oxytropis*）隶属于豆科（Fabaceae）山羊豆族（Galegeae），广布于北温带，全球约有310余种，我国约有133种，其中内蒙古、新疆以及青藏高原是它们的分化中心，约有100余种分布于这三个地区（赵一之和刘丽，1997；Zhu和Ohashi，2000；吴玉虎，2008）。分子与形

* 基金项目：国家自然科学基金重点项目（40930209）；国家自然科学基金项目（31070192）
** 通讯作者：Author for correspondence；E-mail：yangyp@mail.kib.ac.cn
收稿日期：2010-11-22，2011-02-13 接受发表
作者简介：刘亚辉（1985-）男，硕士研究生，主要从事植物细胞地理学研究。E-mail：yahui.liu2010@gamil.com

态学证据均表明它与黄耆属（*Astragalus*）的亲缘关系最近（Sanderson 和 Liston，1995；Zhu 和 Ohashi，2000；Kang 等，2003；Wojciechowski，2005），两属间的形态差异仅在于前者的龙骨瓣先端有喙，荚果的腹缝线向内延伸成隔膜，荚果沿腹缝开裂，而黄耆属的龙骨瓣先端不具喙、荚果的背缝线向内延伸成隔膜，荚果沿背缝开裂。

全世界已有染色体报道的棘豆属植物有121种，其中我国仅有21种（表1）。张寿洲等（1994）报道了产自内蒙古的14种棘豆属植物的染色体数目和核型，产自西藏的仅有3种见报道（王丽等，1994），新疆有2种，上述研究发现我国的棘豆属植物以二倍体为主。据最新资料，青藏高原有棘豆属植物74种（吴玉虎，2008），但大部分种类的染色体资料未见报道。本文报道了6种13个居群的棘豆属植物的染色体数目及核型。

1 材料和方法

实验材料采自青藏高原，采集地点见表2，凭证标本藏于中国科学院昆明植物研究所标本馆（KUN）。成熟种子于24℃恒温箱中发芽，待根尖生长至0.5～1.5 cm时，取下根尖，于室温下置于0.002 mol·L^{-1}的8-羟基喹啉溶液中预处理4～5 h，蒸馏水冲洗根尖，用卡诺氏固定液（冰醋酸：乙醇=1：3）于4℃条件下固定1 h，固定后的材料经水洗，用解离液（1 mol·L^{-1} HCL：45%冰醋酸=1：1）于60℃水浴中解离1～2 min，1%醋酸地衣红染色。按常规方法压片镜检。经镜检挑选染色体分散良好的细胞，中性树胶封片，拍照。统计30～50个细胞，以其中85%以上细胞具有的恒定一致的染色体数作为该材料的染色体数。

间期核和前期染色体的形态划分按Tanaka（1971，1977，1987）的标准，染色体类型按Levan等（1964）的方法分析，核型不对称性分别采用了Stebbins（1971）以及Paszko（2006）新提出的更为精确的AI值。$AI=CV_{CL}\times CV_{CI}/100$，AI值反映了染色体长度（$CV_{CL}$）和着丝点变化（$CV_{CI}$）之间的关系。

2 结果与分析

2.1 黄花棘豆（*O. ochrocephala* Bunge）

黄花棘豆的染色体数目是2*n*=16，核型公式为2*n*=2*x*=16=2M+12m+2sm，不对称性核型为1A（图1：C；图2：1；表3），其染色体长度的变化范围为1.54～2.14 μm，不对称系数AI=0.97（表3）。

2.2 小叶棘豆（*O. microphylla*（Pall.）DC.）

小叶棘豆的三个居群样中，采自西藏阿里地区噶尔县和那曲地区聂荣县的居群核型类别都属于1A，核型公式分别为2*n*=2*x*=16=2M+14m（图1：D；图2：2；表3）和2*n*=2*x*=16=4M+12m（图1：F；图2：4；表3），其AI分别为0.97和0.69（表3）。而来自西藏那曲县的居群则表现为2A的核型类别，其核型公式是2*n*=2*x*=16=10m+6sm（图1：E；图2：3；表3），AI=0.79（表3）。

2.3 绢毛棘豆（*O. tatarica* Camb ex Bunge）

绢毛棘豆的染色体数目和核型，属首次报道。两个居群的核型都属于2A。两者的核型很相似，西藏噶尔县的居群核型公式为2*n*=2*x*=16=2M+12m+2sm（图1：G；图2：5；表3），西藏革吉县居群的核型公式是2*n*=2*x*=16=12m+4sm（图1：H；图2：6；表3）。

2.4 铺地棘豆（*O. humifusa* Kar. et Kir.）

铺地棘豆（*O. humifusa*）两居群分别来自西藏聂荣县和尼玛县双湖特别行政区，两个居群的核型不同。前者的核型公式为2*n*=2*x*=16=6M+10m，属于1A（图1：I；图2：7；表3），而后者的核型公式是2*n*=2*x*=16=12m+4sm，属于2A（图1：J；图2：8；表3）。两个居群的AI分别为1.28和2.41（表3）。

2.5 胀果棘豆（*O. stracheyana* Bunge）

胀果棘豆的核型公式为2*n*=6*x*=48=2M+42m+4sm+3B（图1：K；图2：9；表3），核型类型属于2A，AI=0.98（表3），其染色体数目和前人报道一致（王丽等，1994）。但本研究中，我们首次发现有3条B染色体。

2.6 甘肃棘豆（*O. kansuensis* Bunge）

四个居群的核型都是1A，但核型公式和不对称性指数不尽相同。四川康定县居群的核型公式为2*n*=2*x*=16=2M+14m，AI=0.97（图1：L；图2：10；表3）；四川理塘县的两个居群核型公式均为2*n*=2*x*=16=2M+12m+2sm，但AI值不同，分别为AI=1.12（图1：M；图2：11；表3）和AI=1.38（图1：N；图2：12；表3）；四川九龙县居群的核型公式是2*n*=2*x*=16=14m+2sm，AI=0.54（图1：O；图2：13；表3）。

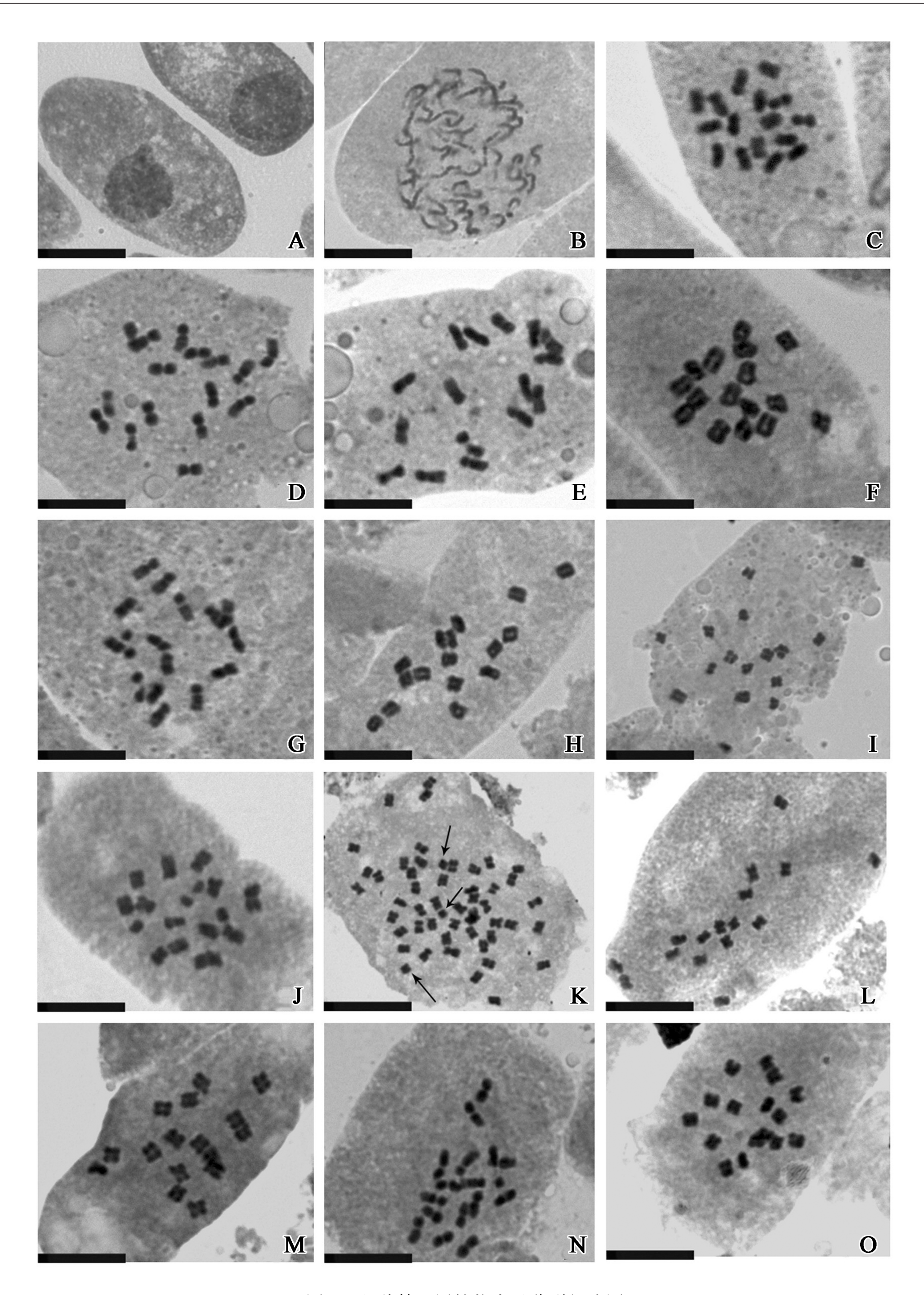


图1 六种棘豆属植物有丝分裂细胞图

A. 间期; B. 前期; C. 黄花棘豆; D. 小叶棘豆 (西藏噶尔县); E. 小叶棘豆 (西藏那曲县); F. 小叶棘豆 (西藏聂荣县); G. 绢毛棘豆 (西藏噶尔县); H. 绢毛棘豆 (西藏革吉县); I. 铺地棘豆 (西藏聂荣县); J. 铺地棘豆 (西藏双湖特别行政区); K. 胀果棘豆, 箭头所示为B染色体; L. 甘肃棘豆 (四川康定县); M. 甘肃棘豆 (四川理塘县); N. 甘肃棘豆 (四川理塘县); O. 甘肃棘豆 (四川九龙县)。比例尺=4 μm

Fig. 1 Mitotic nuclei and metaphase chromosomes of six *Oxytropis* species

A. Resting nucleus; B. Prophase; C. *Oxytropis ochrocephala*; D. *O. microphylla* (Nyerong Tibet); E. *O. microphylla* (Nagqu Tibet); F. *O. microphylla* (Nyerong Tibet); G. *O. tatarica* (Gar Tibet); H. *O. tatarica* (Gakyi Tibet); I. *O. humifusa* (Nyerong Tibet); J. *O. humifusa* (Shunghu Tibet); K. *O. stracheyana*, B. chromosomes (arrow); L. *O. kansuensis* (Kangding Sichuan); M. *O. kansuensis* (Litang Sichuan); N. *O. kansuensis* (Litang Sichuan); O. *O. kansuensis* (Jiulong Sichuan). Scale bars=4 μm

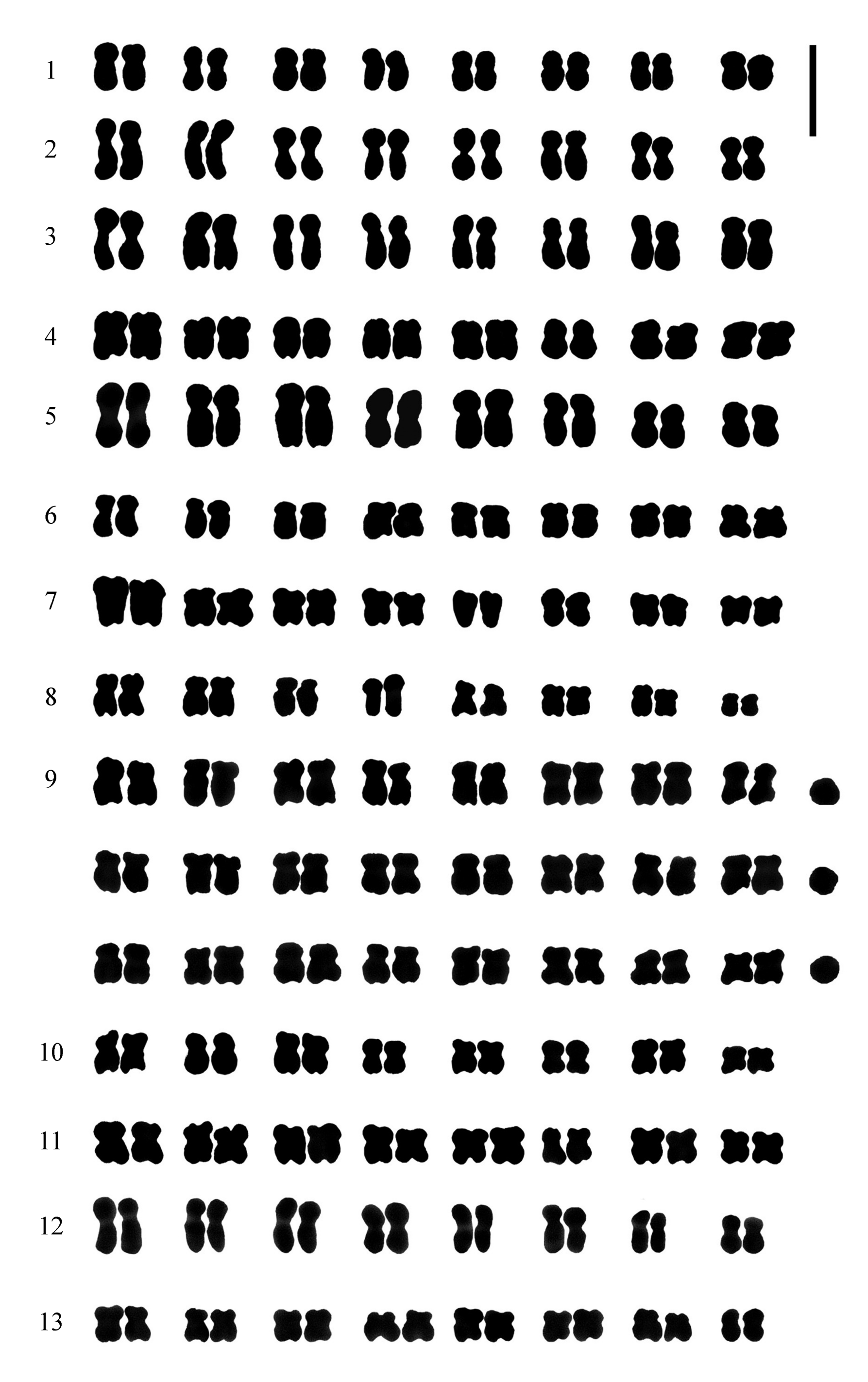


图 2　六种棘豆属植物的染色体图

1. 黄花棘豆；2. 小叶棘豆（西藏噶尔县）；3. 小叶棘豆（西藏那曲县）；4. 小叶棘豆（西藏聂荣县）；5. 绢毛棘豆（西藏噶尔县）；6. 绢毛棘豆（西藏革吉县）；7. 铺地棘豆（西藏聂荣县）；8. 铺地棘豆（西藏双湖特别行政区）；9. 胀果棘豆，箭头所示为 B 染色体；10. 甘肃棘豆（四川康定县）；11. 甘肃棘豆（四川理塘县）；12. 甘肃棘豆（四川理塘县）；13. 甘肃棘豆（四川九龙县）。比例尺 = 4 μm

Fig. 2　Ideograms of somatic metaphase chromosomes of *Oxytropis*

1. *Oxytropis ochrocephala*; 2. *O. microphylla* (Nyerong Tibet); 3. *O. microphylla* (Nagqu Tibet); 4. *O. microphylla* (Nyerong Tibet); 5. *O. tatarica* (Gar Tibet); 6. *O. tatarica* (Gakyi Tibet); 7. *O. humifusa* (Nyerong Tibet); 8. *O. humifusa* (Shunghu Tibet); 9. *O. stracheyana*; 10. *O. kansuensis* (Kangding Sichuan); 11. *O. kansuensis* (Litang Sichuan); 12. *O. kansuensis* (Litang Sichuan); 13. *O. kansuensis* (Jiulong Sichuan). Scale bars = 4 μm

4 讨论

本文报道了来自青藏高原13个居群6种棘豆属植物的染色体数目和核型，其中4种（黄花棘豆、绢毛棘豆、甘肃棘豆、铺地棘豆）为首次报道。结果表明：除胀果棘豆为 $2n=48$ 以外，其它所有居群均为 $2n=16$。通过对现有染色体数据的统计分析发现（表1）：$2n=16$ 是棘豆属植物中最普遍的染色体数目，占42%，本研究结果支持 $x=8$ 为本属的染色体基数，$x=8$ 也是山羊豆族中最常见的染色体基数（Goldblatt，1977；Jahan，1994；Nie 等，2002；杨德奎，2002；Kong，2003；Zhu，2004；Masoud，2008）。

棘豆属植物的染色体核型报道相对较少，本研究发现染色体由正中部、中部和近中部着丝粒染色体组成，另外，还发现胀果棘豆中存在3条B染色体，与前人的研究结果一致（张寿洲等，1994；顾志建和孙航，1996）。Paszko（2006）认为 Stebbins 的核型不对称性很难准确地反映染色体的不对称性，因此提出了更为精确的不对称性量化参数 AI 值，该参数综合考虑了染色体长短及着丝粒位置的变异情况，即 AI 值越高，不对称性越强。本文引用了 AI 值来表述该属植物的染色体不对称性，从表3中可以看出，产自青藏高原腹地双湖特别行政区居群的 AI 值（2.41）最高，而四川九龙居群的 AI 值（0.54）最低，通常认为核型不对称性的进化方向是由对称性向不对称性发展的（Stebbins，1980），因此这可能表明处于青藏高原腹地的类群比边缘地区的类群更进化，当然这需要更进一步的研究来验证。

对全世界棘豆属植物染色体资料统计发现，该属具二倍体、三倍体、四倍体、六倍体、八倍体、十倍体和十二倍体等多个倍性，多倍体占已报道种的比例达到了58%，其中高倍性的居群多见于俄罗斯远东地区及欧洲（表1），这些地区在第四纪发生冰期和间冰期交替，高倍性的产生可能是因为反复迁移多次加倍的结果（Brochmann 等，2004），这说明了多倍体在棘豆属的进化过程中起到了很重要的作用。但在青藏高原，本研究中13个居群仅在胀果棘豆中出现六倍体，其它居群均为二倍体，这可能是由于在末次冰期青藏高原存在广泛的避难所，二倍体得到很好保存，冰期对它们的影响并不是很大，多倍化并不明显。在青藏高原及横断山区很多植物类群的研究中也发现类似的结果，如垂头菊属（*Cremanthodium*）（Liu 等，2001）、橐吾属（*Ligularia*）（Liu，2004）、高山豆属（*Tibetia*）（Nie 等，2002）、翠雀属（*Delphinium*）（Yuan 和 Yang，2008）。另外，Nie 等（2005）对552种横断山区的被子植物统计分析的结果也表明多倍体仅占22%。但是目前对于本属植物在青藏高原的染色体资料还很少，要真正理解棘豆属植物在本地区的染色体进化机制还需要进一步的研究。

致谢 感谢昆明植物研究所陈家辉博士在种子采集及标本签定方面提供的帮助，张春玲女士在染色体实验工作中的指导。

〔参 考 文 献〕

吴玉虎，2008. 青藏高原维管植物及其生态地理分布［M］. 北京：科学出版社，506—515

Brochmann C，Brysting AK，Alsos IG *et al*.，2004. Polyploidy in arctic plants［J］. *Biological Journal of the Linnean Society*，**82**：521—536

Goldblatt P，Davidse G，1977. Chromosome numbers in legumes［J］. *Annals of the Missouri Botanical Garden*，**64**：121—128

Gu ZJ（顾志建），Sun H（孙航），1996. A cytological study of some plants from Qinghai-Xizang Plateau［A］. In：Zhang AL（张敖罗），Wu SG（武素功）eds. *Floristic Characteristics and Diversity of East Asian Plants*，84—85

Jahan B，Vahidy AA，Ali SI，1994. Chromosome numbers in some taxa of Fabaceae mostly native to Pakistan［J］. *Annals of the Missouri Botanical Garden*，**81**：792—799

Kang Y，Zhang ML，Chen ZD，2003. A Preliminary Phylogenetic Study of the Subgenus *Pogonophace*（*Astragalus*）in China Based on ITS Sequence Data［J］. *Acta Botanica Sinica*，**45**（2）：140—145

Kong H（孔红），Chen Q（陈荃），Jiao CJ（焦成谨）*et al*.，2003. A study on karyotypes of 2 species in *Glycyrrhiza*［J］. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinia*（西北植物学报），**23**（6）：1014—1016

Levan A，Fredga K，Sandberg AA，1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes［J］. *Hereditas*，**52**：201—220

Liu JQ，2004. Uniformity of karyotypes in *Ligularia*（Asteraceae：Senecioneae），a highly diversified genus of the eastern Qinghai-Tibet Plateau highlands and adjacent areas［J］. *Botanical Journal of the Linnean Society*，**144**（3）：329—342

Liu JQ，Liu SW，Ho TN *et al*.，2001. Karyological studies on the Sino-Himalayan genus，*Cremanthodiurn*（Asteraceae：Senecione-

ae）［J］. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **135**（2）: 107—112

Masoud S, Shokooh I, Roya K *et al.*, 2008. Cyto-morphological studies of the genus *Glycyrrhiza* in Iran［J］. *Cytologia*, **73**: 333—339

Nie ZL, Gu ZJ, Sun H, 2002. Cytological study of genus *Tibetia* (Fabaceae) in the Hengduan Mountains Region, China［J］. *Journal of Plant Research*, **115**（1）: 17—22

Nie ZL, Wen J, Gu ZJ *et al.*, 2005. Polyploidy in the flora of the Hengduan Mountains hotspot, southwestern China［J］. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **92**: 275—306

Paszko B, 2006. A critical review and a new proposal of karyotype asymmetry indices［J］. *Plant Systematics and Evolution*, **258**: 39—48

Sanderson MJ, Liston A, 1995. Molecular phylogenetic systematic of Galegeae, with special reference to Astragalus［A］. In: Crisp M, Doyle JJ eds. *Advances in legume systematics 7*: *Phylogeny*［M］. UK: Royal Botanical Gardens, Kew, 331—350

Stebbins GL, 1971. *Chromosomal Evolution in Higher Plants*［M］. London: Edward Arnold Ltd

Stebbins GL, 1980. Polyploidy in plants: unsolved problems and prospects［A］. In: Lewis WH ed. Polyploidy, *Biological Relevance*［M］. New York: Plenum Press, 495—520

Tanaka R, 1971. Types of resting nuclei in Orchidaceae［J］. *Bot Mag Tokyo*, **84**: 118—122

Tanaka R, 1977. Recent karyotype studies［A］. In: Ogawa K, Koike S, Kurosumi I *et al.* eds. *Plant Cytology*［M］. Tokyo: Asakura, 293—326

Tanaka R, 1987. The karyotype theory and wide crossing as an example in Orchidaceae［A］. In: Hong DY ed. *Plant Chromosome Research. Proceedings of the Sino-Japanese Symposium on Plant Chromosomes*［M］. Hiroshima: Nishiki Print Co., 437

Wang L（王丽）, Gu ZJ（顾志建）, Sun H（孙航）, 1994. Preliminary karyomorphological study on the plants in genera *Oxytropis* and *Astragalus* from Qinghai-Xizang Plateau［J］. *Acta Botanica Yunnanica*（云南植物研究）, **16**（1）: 53—59

Wojciechowski MF, 2005. *Astragalus* (Fabaceae): a molecular phylogenetic perspective［J］. *Brittonia*, **57**: 382—396

Yang DK（杨德奎）, 2002. The karyotype analysis of *Gueldenstaedtia* from Shandong［J］. *Guihaia*（广西植物）, **22**（4）: 349—351

Yuan Q, Yang QE, 2008. Low incidence of polyploids and high uniformity of karyotypes displayed by *Delphinium* (Ranunculaceae) in the Hengduan Mountains region of south-west China［J］. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **158**（1）: 172—188

Zhang SZ（张寿洲）, Ma YC（马毓泉）, Li MX（李懋学）, 1994. Cytotaxonomical studies on 14 species of *Oxytropis* DC. from Inner Mongolia［J］. *Acta Scientiarum Naturalium Universitis Nei Mongol*（内蒙古大学学报（自然科学版））, **25**: 64—72

Zhao YZ（赵一之）, Liu L（刘丽）, 1997. Ecological geographic distributions specificity of Flora of *Oxytropis* in Inner Mongolia［J］. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol*（内蒙古大学学报（自然科学版））, **28**（2）: 200—212

Zhu XY, 2004. A taxonomic revision of Tibetia［J］. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **148**: 475— 488

Zhu XY, Ohashi H, 2000. Systematics of Chinese *Oxytropis* DC.［J］. *Cathaya*, **11-12**: 1—218

表 1　已有染色体研究报道的棘豆属植物

Table 1　Chromosome numbers known in *Oxytropis*

Taxa	2*n*/Basic num./Ploidy level	Locality	Taxa	2*n*/Basic num./Ploidy level	Locality
Oxytropis aciphylla	16/8/2*x*	Inner Mongolia	*O. gorodkovii*	16/8/2*x*	Wrangel Island
O. adamsiana	32/8/4*x*	North East Asia		16/32	North East Asia
O. ajanensis	16/8/2*x*		*O. gracilis*	64/8/8*x*	Canada
O. anjuica	16/8/2*x*	Chukotskoy, Russia	*O. gracillima*	16/8/2*x*	Inner Mongolia
O. arctica	64/8/8*x*	Novosibirsk, Russia	*O. grandiflora*	32/8/4*x*	Inner Mongolia
	48/8/6*x*	Alaska	*O. hailarensis*	32/8/4*x*	Inner Mongolia
O. arctica subsp. *bellii*	96/8/12*x*	Canada	*O. helvetica*	16/8/2*x*	Russia
O. arctica subsp. *taimyrensis*	64/8/8*x*	North East Asia	*O. heterotricha*	48/8/6*x*	North East Asia
O. borealis	48/8/6*x*	North East Asia	*O. hidaka-montana*	16/8/2*x*	
O. borealis var. *hudsonica*	16/8/2*x*	Canada	*O. hirta*	32/8/4*x*	Fangshan Shanxi
O. bryophila	C. 32	Alaska		16/8/2*x*	Inner Mongolia
O. cachemiriana	16+0-6B	Ladakh	*O. huddelsonii*	16/8/2*x*	Alaska
O. caespitosa	56-58	Far East of the USSR	*O. hudsonica*	16/8/2*x*	North East of Canada
O. campanulata	32+0-3B	Novosibirsk	*O. humifusa*	16/8/2*x*	Nyerong Tibet
	16/8/2*x*	Russia		16/8/2*x*	Shunghu Tibet
	32/8/4*x*	Krasonyarsk, Russia	*O. inopinata*	16/8/2*x*	North East Asia
O. campestris	32/8/4*x*	Poland	*O. ixodes*	16/8/2*x*	North East of Canada
	48/8/6*x*	Osterreich Austria	*O. jabalambrensis*	16/8/2*x*	Sendtnera, Germany
O. campestris subsp. *campestris*	98	Italian	*O. johannensis*	32/8/4*x*	Canada
O. campestris subsp. *johannensis*	48/8/6*x*	North East of Canada	*O. jordalii* subsp. *jordalii*	32/8/4*x*	Alaska
O. campestris subsp. *varians*	16/32/96	Alaska	*O. jurtzevii*	16/8/2*x*	North East Asia
O. candicans	16/8/2*x*	North East Asia	*O. kansuensi*	16/8/2*x*	Kangding Sichuan
O. caputoi	16/8/2*x*	Appennino, Italia		16/8/2*x*	Litang Sichuan
O. chankaensis	32/8/4*x*	Far East of the USSR		16/8/2*x*	Litang Sichuan
O. charkeviczii	16/8/2*x*			16/8/2*x*	Jiulong Sichuan
O. cusickii	48/8/6*x*	Beartooth Plateau	*O. kamtschatica*	96/8/12*x*	Far East of the USSR
O. czukotica	32/8/4*x*	North East Asia		16/8/2*x*	North East Asia
	16/8/2*x*	Far East of the USSR	*O. kobukensis*	80/8/10*x*	Alaska
O. deflexa	16/8/2*x*	Tekesi Xinjiang	*O. kodarensis*	32/8/4*x*	North East Asia
O. deflexa subsp. *deflexa*	16/8/2*x*	North East Asia	*O. koyukukensis*	48/8/6*x*	Alaska
O. deflexa var. *dezhnevii*	16/8/2*x*	North East Asia	*O. kozhuharovii*	32/8/4*x*	Bulgaria
O. deflexa subsp. *foliolosa*	16/8/2*x*	Alaska	*O. kusnetzovii*	32/48	North East Asia
	16/8/2*x*	Canada	*O. lambertii*	48/8/6*x*	Canada
O. deflexa subsp. *retrorsa*	16/8/2*x*	Canada	*O. lambertii* var. *bigelovii*	32/8/4*x*	West of American
O. diversifolia	16/8/2*x*	Inner Mongolia	*O. lanata*	16/8/2*x*	North East Asia
O. erecta	48/8/6*x*	North East Asia	*O. lapponica*	16/8/2*x*	Ladakh
O. eriocarpa	16+0-3B	Novosibirsk		16/8/2*x*	Pakistan
O. evenorum	96/8/12*x*		*O. latibracteata*	16/8/2*x*	Inner Mongolia
O. exserta	16/8/2*x*	North East Asia	*O. lehmanni*	16/8/2*x*	Tadzhikistan
O. filiformis	32/8/4*x*	Inner Mongolia	*O. leptophylla*	16/8/2*x*	Inner Mongolia
	16/8/2*x*	Inner Mongolia	*O. leptophysa*	16/8/2*x*	Tadzhikistan
O. gaspensis	32/8/4*x*	North East of Canada	*O. leucantha*	96/8/12*x*	Anyui Mts
O. glabra	16/8/2*x*	Inner Mongolia		48/8/6*x*	North East Asia
O. glacialis	16+2B	Saga Tibet		80/96	Novosibirsk
	16/8/2*x*	Tibet	*O. leucantha* subsp. *subarctica*	48/96	North East Asia
O. glandulosa	32/8/4*x*	North East Asia	*O. leucantha* subsp. *tschukotica*	48/64/80/96	North East Asia

续表 1

Taxa	2n/Basic num./Ploidy level	Locality	Taxa	2n/Basic num./Ploidy level	Locality
O. leucotricha	48/8/6x	Vostochnogo, Russia	*O. savellanica*	16/8/2x	Tadzhikistan
O. longirostra	48/8/6x	Vostochnogo, Russia	*O. scammaniana*	16/32	Alaska
O. mandshurica	16/8/2x	Far East of the USSR	*O. scheludjakovae*	16/8/2x	North East Asia
	16/8/2x	Inner Mongolia	*O. schmorgunoviae*	48/8/6x	North East Asia
O. maydelliana	96/8/12x	Far East of the USSR	*O. semiglobosa*	16/8/2x	North East Asia
	c. 96	North East of Canada	*O. seravschanica*	16/8/2x	Tadzhikistan
O. maydelliana subsp. *melanocephala*	96/8/12x	Canada	*O. sericea*	48/8/6x	Canada
O. merkensis	16/32	Xinjiang	*O. sericea* var. *sericea*	24/8/3x	American
O. mertensiana	16/8/2x	North East Asia	*O. sericopetala*	16/8/2x	Tibet
O. microcarpus	24/8/3x	Canada	*O. sordida*	48/8/6x	Urals, Russia
O. microphylla	16/8/2x	Ladakh	*O. sordida* subsp. *schamurinii*	96/8/12x	North East Asia
	16/8/2x	Burang Tibet	*O. splendens*	16/8/2x	Canada
	16/8/2x	Lazi Tibet	*O. squammulosa*	16/8/2x	Inner Mongolia
	16/8/2x	Gar Tibet	*O. stracheyana*	48/8/6x	Burang Tibet
	16/8/2x	Nagqu Tibet		48/8/6x	Shunghu Tibet
	16/8/2x	Nyerong Tibet	*O. strobilacea*	16/32	North East Asia
O. microsphaera	16/8/2x	Tadzhikistan		48/8/6x	Novosibirsk
O. middendorfii	48/8/6x	Novosibirsk	*O. subnutans*	48/8/6x	North East Asia
O. middendorffii subsp. *anadyrensis*	16/48	North East Asia	*O. sverdrupii*	48/8/6x	North East Asia
O. middendorffii subsp. *jarovoji*	48/8/6x	North East Asia	*O. tatarica*	16/8/2x	Gar Tibet
O. middendorffii subsp. *middendorffii*	48/8/6x	North East Asia		16/8/2x	Gakyi Tibet
O. middendorffii subsp. *submiddendorffii*	48/8/6x	North East Asia	*O. tczukotica*	32/8/4x	North East Asia
O. middendorfii subsp. *coerulescens*	48/8/6x	North East Asia	*O. terrae-novae*	48/8/6x	Canada
O. middendorfii subsp. *orulganica*	48/8/6x	North East Asia	*O. tianschanica*	16/8/2x	Monglia
O. mollis	32/8/4x	Ladakh	*O. tichomirovii*	16/8/2x	North East Asia
O. mujensis	48/8/6x	North East Asia	*O. tilingii*	16/8/2x	Far East of the USSR
O. muricata	32/8/4x	Vostochnogo, Russia	*O. todomoshiriensis*	2n>64	Far East of the USSR
O. myriophylla	16/8/2x	North East Asia	*O. tragacanthoides*	16/32	South Siberia
	16/8/2x	Inner Mongolia		32/8/4x	Siberia, Russia
O. nigrescens	16/8/2x	North East Asia	*O. trautvetteri*	16/8/2x	Far East of the USSR
O. nitens	48/8/6x	Vostochnogo Russia	*O. tschuktschorum*	32/8/4x	South of Chukotka
O. ochotensis	64/8/8x	North East Asia	*O. uniflora*	16/8/2x	Wrangel Island
O. ochrantha	16/8/2x	Inner Mongolia	*O. uralensis*	32/8/4x	Urals
O. ochrocephala	16/8/2x	Nyerong Tibet	*O. urumovii*	48/8/6x	Bulgaria
O. oxyphylla	16/8/2x	Sibiria, Russia		16/8/2x	Pirin
O. pagobia	16/8/2x	Monglia		16/8/2x	Mediterranean
O. palustris	48/8/6x	Canada	*O. uschakovii*	32/8/4x	North East Asia
O. pamiroalaika	16/8/2x	Tadzhikistan	*O. varians*	96/8/12x	Canada
O. pilosa	16/8/2x	Osterreich Austria	*O. vassilczenkoi*	32/48	North East Asia
	16/8/2x	Czechoslovakia		32/8/4x	
O. pumilio	16/8/2x	North East Asia	*O. vassilczenkoi* subsp. *substepposa*	32/48	North East Asia
O. purpurea	16/8/2x	Greek	*O. vasskovskii*	16/32	North East Asia
O. putoranica	16/8/2x	Novosibirsk	*O. verticillata*	32/8/4x	Vostochnogo, Russia
O. retusa	16/8/2x	Far East of the USSR	*O. viscida*	16/8/2x	Alaska
O. revoluta	16/8/2x	Far East of the USSR	*O. viscida* var. *hudsonica*	32/8/4x	Canada
O. riparia	16/32	Tadzhikistan	*O. wrangelii*	64/8/8x	North East Asia
O. ruthenica	16/8/2x	Far East of the USSR	*O. yunnanensis*	24/8/3x	Xinghai Qinghai

表 2　材料采集信息表

Table 2　Samples and their locality information

编号 Acc.	种名 Taxon	采集地 Locality	GPS		海拔 Altitude/m	凭证标本号 Vouchers
1	黄花棘豆 *O. ochrocephala*	西藏　聂荣县	N 31°46′02.1″	E 92°04′19.0″	4680	Yangyp-Q-2102
2	小叶棘豆 *O. microphylla*	西藏　噶尔县	N 32°22′10.3″	E 80°34′20.1″	4797	Yangyp-Q-2009
3		西藏　那曲县	N 31°19′05.5″	E 91°54′25.3″	4577	Yangyp-Q-2124
4		西藏　聂荣县	N 31°46′02.1″	E 92°04′19.0″	4680	Yangyp-Q-2089
5	绢毛棘豆 *O. tatarica*	西藏　噶尔县	N 32°22′10.3″	E 80°34′20.1″	4797	Yangyp-Q-2010
6		西藏　革吉县	N 32°08′20.8″	E 81°40′48.6″	4823	Yangyp-Q-2029
7	铺地棘豆 *O. humifusa*	西藏　聂荣县	N 31°46′02.1″	E 92°04′19.0″	4680	Yangyp-Q-2090
8		西藏　双湖特别行政区	N 32°37′17.9″	E 88°06′54.3″	4984	Yangyp-Q-2047
9	胀果棘豆 *O. stracheyana*	西藏　双湖特别行政区	N 32°35′37.1″	E 88°56′07.0″	4851	Yangyp-Q-2054
10	甘肃棘豆 *O. kansuensis*	四川　康定县	N 30°32′40.3″	E 101°34′07.6″	3800	Meng & Nie2553
11		四川　理塘县	N 29°50′48.8″	E 99°51′16.2″	4078	Meng & Nie 2658
12		四川　理塘县	N 29°42′33.7″	E 100°32′10.1″	4022	Meng & Nie 2719
13		四川　九龙县	N 29°18′36.4″	E 101°29′38.5″	4188	Meng & Nie 2982

表 3　六种棘豆属植物染色体参数

Table 3　Chromosomal data of six *Oxytropis* species

Acc.	Taxon	Range/μm SC-LC	Ratio LC/SC	S/μm Mean (±SD)	L/μm Mean (±SD)	CL/μm Mean (±SD)	CI Mean (±SD)	AI	Type	Karyotype formula
1	*O. ochrocephala*	1.54-2.14	1.39	0.78(±0.09)	1.03(±0.14)	1.80(±0.17)	43.20(±4.58)	0.97	1A	$2n=2x=16=2M+12m+2sm$
2	*O. microphylla*	1.93-2.63	1.37	0.99(±0.10)	1.28(±0.19)	2.27(±0.23)	43.82(±4.09)	0.97	1A	$2n=2x=16=2M+14m$
3		2.14-2.61	1.22	0.94(±0.16)	1.44(±0.10)	2.38(±0.14)	39.31(±5.19)	0.79	2A	$2n=2x=16=10m+6sm$
4		1.60-2.10	1.31	0.81(±0.11)	0.99(±0.09)	1.80(±0.13)	44.92(±4.41)	0.69	1A	$2n=2x=16=4M+12m$
5	*O. tatarica*	1.82-2.82	1.55	1.04(±0.17)	1.41(±0.25)	2.45(±0.34)	42.68(±4.73)	1.54	2A	$2n=2x=16=2M+12m+2sm$
6		1.39-1.86	1.34	0.64(±0.06)	0.97(±0.15)	1.61(±0.14)	39.83(±5.01)	1.09	2A	$2n=2x=16=12m+4sm$
7	*O. humifusa*	1.28-2.14	1.67	0.74(±0.10)	0.89(±0.16)	1.62(±0.22)	45.44(±4.24)	1.28	1A	$2n=2x=16=6M+10m$
8		0.94-1.82	1.93	0.58(±0.11)	0.91(±0.21)	1.49(±0.28)	39.28(±4.95)	2.41	2A	$2n=2x=16=12m+4sm$
9	*O. stracheyana*	1.50-2.14	1.43	0.75(±0.10)	1.05(±0.13)	1.80(±0.16)	41.64(±4.54)	0.98	2A	$2n=6x=48=2M+42m+4sm+3B$
10	*O. kansuensis*	1.18-1.93	1.64	0.72(±0.09)	0.90(±0.15)	1.62(±0.22)	44.73(±3.14)	0.97	1A	$2n=2x=16=2M+14m$
11		1.39-1.93	1.38	0.71(±0.10)	0.97(±0.13)	1.68(±0.15)	42.29(±5.13)	1.12	1A	$2n=2x=16=2M+12m+2sm$
12		1.60-2.46	1.53	0.90(±0.12)	1.23(±0.21)	2.13(±0.27)	42.62(±4.62)	1.38	1A	$2n=2x=16=2M+12m+2sm$
13		1.28-1.60	1.25	0.62(±0.07)	0.81(±0.07)	1.43(±0.09)	43.42(±3.90)	0.54	1A	$2n=2x=16=14m+2sm$

Acc. 材料编号，见表 1；SC. 最短染色体长度；LC. 最长染色体长度；L. 长臂的平均长度；S. 短臂的平均长度；CL. 染色体组总长度；CI. 平均着丝点指数；AI. 不对称指数（Paszko，2006）；Type. 核型类型（Stebbins，1971）；M. 正中部着丝点；m. 中部着丝点；sm. 近中部着丝点；T. 端部着丝点；SD. 标准差